

## Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Bauteile einer Gasturbine, wie zum Beispiel die Laufschaufeln, sind zur Bereitstellung einer Oxidationsbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit oder auch Erosionsbeständigkeit an den Oberflächen mit speziellen Beschichtungen versehen. Die Bauteile von Gasturbinen unterliegen während des Betriebs derselben einem Verschleiß und können auf sonstige Art und Weise beschädigt werden. Zur Reparatur von Beschädigungen ist es in der Regel erforderlich vom zu reparierenden Bauteil die Beschichtung bereichsweise, teilweise oder auch insgesamt zu entfernen bzw. abzutragen. Das Entfernen bzw. Abtragen von Beschichtungen bezeichnet man auch als Entschichten.

Bei den Entschichtungsverfahren unterscheidet man solche, bei denen die Entschichtung auf mechanischem Wege, chemischem Wege oder elektrochemischem Wege erfolgt. Die elektrochemische Entschichtung beruht auf dem Prinzip der Elektrolyse. Bei den elektrochemischen Entschichtungsverfahren unterscheidet man solche, die mithilfe eines 2-Elektrodensystems, eines 3-Elektrodensystems oder auch eines 4-Elektrodensystems arbeiten. Die hier vorliegende Erfindung betrifft ein elektrochemisches Entschichtungsverfahren, vorzugsweise unter Verwendung eines 2-Elektrodensystems.

Die US 6,165,345 offenbart ein elektrochemisches Entschichtungsverfahren für Gasturbinenschaufeln auf Basis eines 2-Elektrodensystems. Nach dem dort offenbarten Verfahren wird eine zu entschichtende Turbinenschaufel an die positive Klemme einer Spannungsquelle angeschlossen, wobei an die negative Klemme derselben eine speziell angepasste Elektrode angeschlossen wird. Die Form dieser Elektrode entspricht im Wesentlichen der Form der zu entschichtenden Turbinenschaufel bzw. der Form des zu entschichtenden Bereichs der Turbinenschaufel. Die Elektrode und zumindest der zu entschichtende Bereich der Turbinenschaufel sind in ein Arbeitsmedium eingetaucht, wobei eine Gleichspannung von 1 bis 3 V je Bauteil angelegt wird, um einen Stromfluss zwischen 5 und 10 A bereitzustellen. Der durch die angelegte

Gleichspannung definierte Arbeitsbereich der elektrochemischen Entschichtung ist gemäß US 6,165,345 während der gesamten Entschichtung konstant.

Der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen zu schaffen.

Dieses Problem wird ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Erfindungsgemäß wird ein Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung vor der eigentlichen elektrochemischen Entschichtung unter realen Verfahrensbedingungen bestimmt und während der elektrochemischen Entschichtung fortlaufend neu bestimmt bzw. überwacht und gegebenenfalls angepasst.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird der Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung in situ - also unter realen Verfahrensbedingungen der elektrochemischen Entschichtung - bestimmt und während der elektrochemischen Entschichtung ständig überwacht und gegebenenfalls angepasst. Hierdurch ist es möglich, den Arbeitspunkt an sich ändernde Verfahrensbedingungen anzupassen und so stets mit einer optimalen Entschichtungsgeschwindigkeit bzw. Abtraggeschwindigkeit zu arbeiten. Die zur Entschichtung benötigte Zeit wird hierdurch merklich verringert. Durch die fortlaufende Überwachung und gegebenenfalls Anpassung des Arbeitspunkts während der elektrochemischen Entschichtung wird der Arbeitspunkt auch im Hinblick auf das zu entschichtende Bauteil, insbesondere auf den bereits vorgenommenen Grad der Entschichtung und die damit einhergehende Änderung der chemischen Zusammensetzung desselben, angepasst. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich demnach durch eine hohe Selektivität bei der Entschichtung aus, wodurch eine geringe Gefahr von Beschädigungen der Bauteile während der Entschichtung besteht.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird ein Gleichspannungspotential angelegt, wobei das Gleichspannungspotential solange erhöht wird, bis ein gemessener Polarisationsstrom als Funktion des Gleichspannungspotentials ein Maximum erreicht, wobei dieses Maximum den Arbeitspunkt der Entschichtung bestimmt. Während der Entschichtung wird dem Gleichspannungspotential eine Wech-

selspannung überlagert und es wird eine sich infolge der Wechselfspannungsüberlagerung einstellende Änderung des Polarisationsstroms oder des Polarisationsleitwerts gemessen, wobei anhängig hiervon das Gleichspannungspotential so eingestellt wird, dass der Polarisationsstrom im Maximum verbleibt.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1: eine zu entschichtende Schaufel einer Gasturbine.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren am Beispiel einer zu entschichtenden Gasturbinenschaufel beschrieben. Fig. 1 zeigt eine solche Schaufel 10 einer Gasturbine, die ein Schaufelblatt 11 und einen Schaufelfuß 12 umfasst. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die gesamte Schaufel 10, also die gesamte Oberfläche von Schaufelblatt 11 und Schaufelblatt 12, mit einer Beschichtung 13 versehen. Bei dieser Beschichtung 13 kann es sich um eine oxidationsbeständige, korrosionsbeständige und erosionsbeständige Beschichtung handeln.

Im Sinne der Erfindung wird nun ein Verfahren vorgeschlagen, zum Beispiel zur Reparatur der Schaufel 10, die Beschichtung 13 von der Oberfläche des Schaufelblatts 11 sowie des Schaufelfußes 12 abzutragen bzw. zu entfernen. Im Sinne der Erfindung wird dies auf elektrochemischem Wege unter Verwendung eines 2-Elektrodensystems durchgeführt.

Zur elektrochemischen Entschichtung der Schaufel 10 wird dieselbe an die positive Klemme einer Spannungsquelle angeschlossen, wohingegen die Steuerelektrode bzw. Gegenelektrode an die negative Klemme der Spannungsquelle angeschlossen wird. Die Steuerelektrode bzw. Gegenelektrode sowie die zu entschichtende Schaufel 10 sind in ein Arbeitsmedium - in eine Elektrolytlösung - eingetaucht.

Bei dem verwendeten 2-Elektrodensystem wird im Unterschied zu einem 3-Elektrodensystem anstelle einer kombinierten Mess- und Steuerelektrode eine robuste Metallelektrode als Steuerelektrode verwendet. Eine derartige robuste Metallelektrode als Steuerelektrode ist wesentlich unempfindlicher gegenüber dem Entschichtungsprozess und gegenüber Umgebungseinflüssen, wie zum Beispiel elektromagnetischen Wellen. Das elektrochemische Entschichtungsverfahren wird hierdurch insgesamt störungsunanfälliger und damit robuster.

Es liegt nun im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, den Arbeitspunkt des 2-Elektrodensystems bzw. den Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung vor der eigentlichen elektrochemischen Entschichtung in situ zu bestimmen und während des Entschichtungsprozesses fortlaufend neu zu bestimmen bzw. zu überwachen und gegebenenfalls anzupassen. Unter dem Begriff "in situ" ist zu verstehen, dass der Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung unter realen Verfahrensbedingungen, also im konkreten 2-Elektrodensystem, bestimmt wird. Als Steuerungssignal bzw. Kriterium für die Bestimmung des Arbeitspunkts der elektrochemischen Entschichtung wird ein gemessener Polarisationsstrom bzw. ein gemessener Polarisationsleitwert verwendet. Hierzu wird wie folgt vorgegangen:

Zur Bestimmung des Arbeitspunkts der elektrochemischen Entschichtung wird am 2-Elektrodensystem eine potentiostatische Schaltung für das Arbeitspotential bzw. Steuerpotential der elektrochemischen Entschichtung aufgebaut, was bedeutet, dass ein Gleichspannungspotential am 2-Elektrodensystem angelegt wird. Dieses Gleichspannungspotential wird nun zur Bestimmung des Arbeitspunkts für die elektrochemische Entschichtung kontinuierlich oder schrittweise angehoben. Der gemessene Polarisationsstrom bzw. der gemessene Polarisationsleitwert ändert sich als Funktion der angelegten Gleichspannung. Auf diese Weise kann demnach eine Polarisationsstrom-Steuerpotential-Kennlinie bzw. eine Polarisationsleitwert-Steuerpotential-Kennlinie ermittelt werden.

Die Gleichspannung wird nun so lange erhöht, bis die erste Ableitung des Polarisationsstroms als Funktion des Gleichspannungspotentials ausgehend von positiven Werten den Wert Null annimmt und anschließend negativ wird, was bedeutet, dass

der Polarisationsstrom ein Maximum erreicht hat und der Polarisationsleitwert den Wert Null annimmt. Dieser Wert des Gleichspannungspotentials, bei welchem der Polarisationsstrom ein Maximum bzw. der Polarisationsleitwert den Wert Null annimmt, dient als Arbeitspunkt für die elektrochemische Entschichtung. Bei diesem Gleichspannungspotential verläuft die elektrochemische Entschichtung mit einer maximalen Abtraggeschwindigkeit bzw. Entschichtungsgeschwindigkeit. Diese Bestimmung des Arbeitspunkts ist anlagenspezifisch, d.h., dass der ohmsche Widerstand des Arbeitsmediums, also der Elektrolytlösung, berücksichtigt wird.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der hier vorliegenden Erfindung wird während der elektrochemischen Entschichtung dem so ermittelten Gleichspannungspotential eine Wechselspannung überlagert. Die Wechselspannung weist vorzugsweise eine geringe Spannungsamplitude von vorzugsweise  $\pm 5$  mV auf. Die sich infolge der Wechselspannungsüberlagerung einstellende Änderung des Polarisationsstroms oder des Polarisationsleitwerts wird gemessen und abhängig hiervon wird das Gleichspannungspotential so verändert, dass der Polarisationsstrom im Maximum verbleibt bzw. der Polarisationsleitwert den Wert Null beibehält. Bei negativem Polarisationsleitwert wird das Steuerpotential bzw. wird das Gleichspannungspotential herabgesetzt, bei positivem Polarisationsleitwert wird dasselbe entsprechend erhöht. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Entschichtung stets mit maximal möglicher Abtragungsrate erfolgt und eine Entschichtung im Bereich des sogenannten Durchbruchpotentials vermieden wird. Auf diese Art und Weise kann während des gesamten Entschichtungsprozesses eine optimale Abtragungsrate und eine stets schonende Entschichtung der zu entschichtenden Gasturbinenschaufel erfolgen.

Es liegt weiterhin im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, die während der Entschichtung gemessenen Werte des Polarisationsstroms bzw. des Polarisationsleitwerts zur Definition eines Abbruchkriteriums für die elektrochemische Entschichtung zu verwenden. So enthalten die gemessenen Werte des Polarisationsstroms auch Informationen über den Grad der bereits erfolgten Entschichtung des zu entschichtenden Bauteils bzw. über den Aufbau der mithilfe der elektrochemischen Entschichtung abzutragenden Beschichtung. Das Abbruchkriterium für die elektrochemische Entschichtung wird aus einer Relation zwischen dem Anfangswert und den aktuell



gemessenen Werten des Polarisationsstroms gewonnen. Diese Berechnung wird während der Entschichtung kontinuierlich und damit fortlaufend durchgeführt. Nimmt der Polarisationsstrom einen aus dieser Berechnung gewonnenen Wert an, so kann abhängig hiervon der Entschichtungsprozess abgebrochen werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum elektrochemischen Entschichten wird vorzugsweise für die Entschichtung von Gasturbinenschaufeln verwendet. Es eignet sich auch für die Entschichtung solcher Gasturbinenschaufeln, die im Inneren Kanäle, wie Kühlkanäle, aufweisen. Zur Entschichtung solcher Gasturbinenschaufel wird, wie oben beschrieben, der Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung bestimmt und während der Entschichtung fortlaufend überwacht und gegebenenfalls angepasst. Auf diese Weise erfolgt die Entschichtung der Schaufeloberflächen. Wird anhand der fortlaufend erfassten Werte des Polarisationsstroms festgestellt, dass der Entschichtungsprozess an der Oberfläche der Gasturbinenschaufel abgebrochen wird, so wird erfindungsgemäß das Steuerpotential in einen für die Schaufeloberfläche passiven Bereich erhöht. Aufgrund der geringen Durchmesser der innerhalb der Gasturbinenschaufel angeordneten Kanäle kommt es für die Kanäle zu einer Verschiebung des Steuerpotentials in einen aktiven Bereich, so dass auf diese Weise auch innerhalb der Kanäle eine Entschichtung durchgeführt werden kann. Während der Entschichtung der Schaufeloberflächen erfolgt keine Entschichtung der Kanäle.

Das hier vorliegende erfindungsgemäße Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen zeichnet sich durch eine hohe Selektivität des Entschichtungsprozesses aus. Der Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung wird fortlaufend angepasst und somit kann die elektrochemische Entschichtung stets mit optimaler Abtragsrate durchgeführt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ist schneller und kostengünstiger als die aus dem Stand der Technik bekannten Entschichtungsverfahren. Durch die hohe Selektivität besteht eine minimierte Gefahr von Beschädigungen der Bauteile beim Entschichten.

Bei dem erfindungsgemäßen elektrochemischen Entschichtungsverfahren werden stark verdünnte Säuren als Elektrolytlösung bzw. Arbeitsmedium verwendet. Insofern sind nur geringe Schutzmaßnahmen und ein geringer Aufwand bei der Entsorgung

des Arbeitsmediums erforderlich. Das erfindungsgemäße Entschichtungsverfahren kann in eine Linienfertigung integriert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ist des weiteren unempfindlich gegenüber sogenannten Lokalelementen auf der Oberfläche des zu entschichtenden Bauteils, die sich aufgrund einer stark unterschiedlichen Abnutzung bzw. Beschädigung der Beschichtung auf der Oberfläche des zu entschichtenden Bauteils ausbilden können.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass zur möglichst genauen Einstellung bzw. Steuerung des Arbeitspunkts für die elektrochemische Entschichtung das Steuerpotential bzw. das Gleichspannungspotential nicht direkt an den stromführenden Leitungen abgegriffen werden soll, sondern vielmehr über eine getrennte Leitung. Auf diese Art und Weise können Spannungsverluste der stromführenden Leitungen eliminiert werden. Der Arbeitspunkt kann genauer bestimmt und eingestellt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen, insbesondere zum Entschichten von aluminiumbeschichteten Bauteilen einer Gasturbine, dadurch gekennzeichnet, dass ein Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung vor der eigentlichen Entschichtung unter realen Verfahrensbedingungen bestimmt und während der elektrochemischen Entschichtung fortlaufend neu bestimmt bzw. überwacht und gegebenenfalls angepasst wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Entschichtung unter Verwendung eines 2-Elektrodensystems durchgeführt wird, wobei der Arbeitspunkt des 2-Elektrodensystems vor der eigentlichen elektrochemischen Entschichtung unter realen Verfahrensbedingungen bestimmt und während der elektrochemischen Entschichtung fortlaufend neu bestimmt bzw. überwacht und gegebenenfalls angepasst wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Arbeitspunkt als Funktion eines gemessenen Polarisationsstroms oder eines gemessenen Polarisationsleitwerts bestimmt wird.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gleichspannungspotential angelegt wird, wobei das Gleichspannungspotential solange erhöht wird, bis der Polarisationsleitwert oder die erste Ableitung des Polarisationsstroms als Funktion des Gleichspannungspotentials in etwa Null ist, und dass dieser Wert des Gleichspannungspotentials den Arbeitspunkt der Entschichtung bestimmt.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Entschichtung ein Gleichspannungspotential angelegt wird, wobei das Gleichspannungspotential solange erhöht wird, bis der Polarisationsstrom als Funktion des Gleichspannungspotentials ein Maxi-



mum erreicht, und dass dieses Maximum den Arbeitspunkt der Entschichtung bestimmt.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass während der Entschichtung dem Gleichspannungspotential eine Wechselspannung überlagert wird, dass eine sich infolge der Wechselspannungsüberlagerung einstellende Änderung des Polarisationsstroms oder der Polarisationsleitwert gemessen wird, und dass abhängig hiervon das Gleichspannungspotential so eingestellt wird, dass der Polarisationsstrom im Maximum verbleibt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass dem Gleichspannungspotential eine Wechselspannung geringer Amplitude von insbesondere  $\pm 5$  mV überlagert wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die während der Entschichtung gemessenen Werte des Polarisationsstroms oder des Polarisationsleitwerts zur Bestimmung eines Abbruchkriteriums für die elektrochemische Entschichtung verwendet werden.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schaufel einer Gasturbine mit in die Schaufel integrierten Kanälen, insbesondere Kühlkanälen, entschichtet wird, wobei zur Entschichtung der Schaufeloberfläche der Arbeitspunkt als Funktion eines gemessenen Polarisationsstroms oder Polarisationsleitwerts bestimmt wird, und wobei nach Entschichtung der Schaufeloberfläche das Steuerpotential so erhöht wird, dass die Entschichtung der Schaufeloberfläche zum Erliegen kommt und eine Entschichtung der Kanälen erfolgt.

### Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen.

Erfindungsgemäß wird ein Arbeitspunkt der elektrochemischen Entschichtung vor der eigentlichen elektrochemischen Entschichtung unter realen Verfahrensbedingungen bestimmt und während der elektrochemischen Entschichtung fortlaufend neu bestimmt bzw. überwacht und gegebenenfalls angepasst.